

ABE : Un protocole de réservation de bande passante pour les réseaux ad hoc basés sur IEEE 802.11

Cheikh Sarr[†], Claude Chaudet[‡], Guillaume Chelius[†], and Isabelle Guérin Lassous[‡]

[†]Inria Ares / Citi, Insa de Lyon – 69621 Villeurbanne Cedex – France

Cheikh.Sarr@insa-lyon.fr, Guillaume.Chelius@insa-lyon.fr

[‡]GET/ENST; LTCI-UMR CNRS 5141 – 37-39, rue Darreau – 75014 Paris – France

Claude.Chaudet@enst.fr

[‡] LIP / Université Lyon I – 69364 Lyon Cedex 07 France

Isabelle.Guerin-Lassous@ens-lyon.fr

Abstract—Les recherches menées dans le domaine de la QoS pour les réseaux ad hoc ont connu un essor ces dernières années. La principale difficulté lors de la mise en place d'un protocole de QoS, réside dans l'estimation précise des ressources disponibles. Dans cet article, nous proposons une méthode fiable permettant d'estimer la bande passante résiduelle se basant sur une estimation probabiliste de la synchronisation des périodes de temps libre entre les mobiles émetteur et récepteur et une estimation de la probabilité de collision au niveau des liens radio. Par des simulations, nous comparons les performances de notre méthode avec d'autres protocoles de QoS basés sur d'autres techniques d'évaluation de la bande passante résiduelle.

I. INTRODUCTION

Le but d'un protocole de QoS est fournir des routes satisfaisant un ou plusieurs critères sur la qualité de la transmission. Le critère le plus souvent étudié dans les réseaux ad hoc est la bande passante.

La mise en place d'un protocole de QoS efficace nécessite donc une estimation précise de la bande passante disponible. Or cette métrique est difficilement quantifiable dans un environnement ad hoc multi-saut. En effet, le médium étant partagé, la perception de la bande passante utilisée et disponible est différente d'un mobile à un autre. Par conséquent, un mobile en plus de la bande passante qu'il consomme, doit avoir une estimation de la bande passante consommée par les mobiles voisins avec lesquels il partage le médium.

Plusieurs solutions ont été proposées pour pallier ce problème. Ces dernières peuvent être classifiées en deux grandes catégories : les techniques intrusives qui se basent sur l'envoi de paquets de contrôle et les techniques passives qui préconisent une estimation locale de la bande passante disponible parfois combinée à un mécanisme d'échange de ces informations.

Notre solution est basée sur le standard 802.11 largement répandu dans les réseaux sans fil multi-sauts, mais peut s'adapter à toutes les technologies basées sur le principe du CSMA/CA en modifiant quelques paramètres de notre solution.

La *bande passante résiduelle ou disponible* entre deux mobiles peut se définir comme le débit maximal que l'on peut faire passer entre ces deux nœuds, sans dégrader aucun des flux présents dans le réseau, contrairement à la capacité qui représente juste le débit maximal d'émission entre deux mobiles. Dans [9], nous avons proposé une première estimation de la bande passante disponible. Bien que cette dernière soit précise, il existe des configurations particulières pouvant conduire à une estimation moins fiable. Dans cet article, nous proposons donc des améliorations permettant de prendre en compte ces configurations particulières. Finalement, nous comparons les performances de notre technique d'évaluation de la bande passante résiduelle avec d'autres approches existantes.

II. ETAT DE L'ART

Les techniques d'évaluation de la bande passante disponible peuvent se subdiviser en deux grandes classes :

- Les techniques dites intrusives basées sur l'envoi de paquets de contrôles afin d'estimer la bande passante résiduelle le long d'un chemin.
- Les techniques dites passives qui utilisent des informations locales (comme par exemple le taux d'utilisation du canal). Les messages Hello, qui permettent la mise à jour des informations de voisinage, sont aussi utilisés afin d'échanger des informations de bande passante.

Les techniques intrusives. Plusieurs techniques intrusives d'estimation de la bande passante résiduelle ont été proposées dans les réseaux filaires. Un résumé détaillé de ces techniques est donné dans [6]. Les techniques SLOPS (Self Loading Periodic Streams) estiment la bande passante résiduelle de bout en bout en envoyant des paquets de tailles égales et en mesurant leur délai. La technique TOPP (Train of Packet Pair) [5] est basée sur le même principe, cependant la fonction d'augmentation du débit de la source est linéaire. DietTOPP [1] est basée sur TOPP, mais a été conçu pour des environnements sans fil. Dans [4], les auteurs mettent en relief le fait que le délai des paquets, supérieur à une valeur théorique

maximale, permet d'estimer une utilisation du médium et d'en déduire la bande passante résiduelle.

Toutes ces techniques sont actives car elles utilisent des paquets de contrôle envoyés de bout en bout pour estimer la bande passante résiduelle le long d'un chemin. Une consommation importante de la bande passante et un impact sur les trafics de données sont les deux inconvénients majeurs de ces techniques.

Les techniques passives. BRuIT [3] est un protocole de QoS qui prend en compte la notion de zone de détection de porteuse. BRuIT approxime la zone de détection de porteuse par le voisinage à deux sauts. Périodiquement, chaque nœud fournit des informations sur la quantité de bande passante qu'il utilise pour router un flux, ainsi que sur celle utilisée par ses voisins, en envoyant des messages Hello. Le principal inconvénient de cette méthode, est que l'approximation de la zone de détection de porteuse par le voisinage à deux sauts n'est pas toujours correct.

Dans [10], Yang et Kravets ont proposé CACP (Contention Aware Control Protocol), le but étant comme dans BRuIT d'estimer la bande passante résiduelle des nœuds dans la zone de détection de porteuse. Dans un premier temps, la bande passante résiduelle locale est calculée en utilisant les périodes de temps libre au niveau du médium. Dans un second temps, pour estimer la bande passante dans la zone de détection de porteuse trois méthodes différentes sont proposées : l'utilisation des messages Hello dans un voisinage à deux sauts comme dans BRuIT, l'augmentation de la puissance d'émission des émetteurs de telle sorte que le signal puisse être décodé par l'ensemble des nœuds dans la zone de détection de porteuse ou enfin la réduction du seuil de sensibilité des récepteurs.

QoS-AODV [8] utilise une métrique appelée BWER (Bandwidth Efficiency Ratio) afin d'estimer la bande passante résiduelle au niveau de chaque nœud. Cette métrique exprime le ratio entre le nombre de paquets transmis et reçus. QoS-AODV utilise les messages Hello pour collecter les informations de bande passante des mobiles dans son voisinage à un saut. Finalement, la bande passante résiduelle d'un mobile est égale au minimum de la bande passante résiduelle estimée par ce mobile et de celle des mobiles dans son voisinage à un saut.

Dans AAC [7], chaque mobile estime sa bande passante utilisée en additionnant la taille des paquets perçus durant une période fixe. Cette taille des paquets est déduite de l'occupation du médium, ce qui permet de prendre en compte les mobiles dans la zone de détection de porteuse. En fin de compte, la bande passante résiduelle est le minimum de la bande passante résiduelle des mobiles se trouvant dans la zone de détection de porteuse de l'émetteur et du récepteur. De la même manière que CACP, AAC propose aussi la prise en compte de la contention intra-flux.

III. UNE ESTIMATION PRÉCISE DE LA BANDE PASSANTE RÉSIDUELLE

Le but de cette section est de présenter en détail la méthode mise en place pour estimer la bande passante résiduelle

d'un lien en tenant compte des remarques faites dans les paragraphes précédents.

Dans notre proposition, nous combinons trois approches : une approche d'écoute temporelle afin d'estimer localement la bande passante résiduelle des nœuds en monitorant l'activité du canal radio, une évaluation probabiliste de la synchronisation des périodes de temps libres des mobiles afin de déterminer la bande passante résiduelle sur un lien et enfin une estimation de la probabilité de collision sur le lien considéré.

Les deux derniers points nécessitent l'échange d'informations de bande passante entre les mobiles. Cet échange est réalisé, non à l'aide de nouveaux paquets de contrôle, mais grâce aux paquets Hello classiques que l'on retrouve habituellement dans la plupart des protocoles de routage. Ainsi, notre méthode d'estimation de la bande passante résiduelle est passive et non intrusive.

A. Estimation de la bande passante résiduelle d'un nœud

Pendant une période d'observation Δ , chaque nœud écoute l'activité du médium et en déduit sa période globale de temps libre. Les nœuds ne considèrent que les périodes de temps libre supérieure à un DIFS, qui représente la durée d'attente minimale pour qu'une communication puisse démarrer. Il est important de noter que cette écoute permanente du médium permet de prendre en compte la bande passante utilisée par les mobiles dans la zone de détection de porteuse. En effet, tout signal dont la puissance est supérieure au seuil de détection de porteuse bloque l'émission du nœud qui écoute. A ce stade, on constate une surestimation de la bande passante résiduelle car cette méthode ne prend pas en compte ni le backoff ni les collisions qui peuvent survenir à la réception.

B. Estimation de la bande passante résiduelle d'un lien

1) *Prise en compte du recouvrement des périodes de silence:* Dans [9], nous avons proposé une méthode permettant d'estimer la bande passante résiduelle d'un lien à partir de celle d'un nœud comme décrit précédemment. On effectue une estimation probabiliste du recouvrement des périodes de temps libre à partir de l'occupation médium au niveau de l'émetteur et du récepteur. Les messages Hello sont utilisés pour l'échange des informations locales de bande passante entre mobiles voisins. Cette première méthode est relativement précise mais il existe des configurations particulières pour lesquelles l'estimation n'est pas fiable. Nous proposons donc des améliorations à cette méthode afin de la rendre plus fiable indépendamment des configurations choisies.

2) *Prise en compte des collisions:* Périodiquement, des paquets Hello sont envoyés en broadcast pour que les mobiles puissent s'échanger les informations de bande passante. La plupart des protocoles de routage classiques utilisent ces paquets Hello pour une mise à jour régulière de leur information de voisinage. Ainsi nous pouvons estimer une probabilité de collision sur ces messages Hello en calculant le ratio entre le nombre de paquets effectivement reçus et le nombre de paquets attendus. Pour estimer cette probabilité de collision, les messages Hello sont envoyés périodiquement en mode broadcast

par tous les nœuds à une fréquence supposée connue. Ainsi, dès qu'un mobile reçoit un message Hello d'un de ses voisins, il peut en déduire le nombre de messages Hello qu'il devrait recevoir de ce voisin durant une période de mesure.

Une telle estimation suppose une couche MAC idéale, ce qui n'est pas le cas dans 802.11. Cependant, il est intéressant de noter que si l'émetteur n'émet pas un nombre important de paquets Hello, cela implique que le médium est chargé dans son voisinage. Par conséquent tous les liens associés à ce nœud n'auront pas une bande passante résiduelle élevée et l'erreur sur la valeur de la probabilité de collision sur ces paquets Hello n'aura pas un impact important sur l'estimation. De plus, cette erreur génère une sous-estimation de la bande passante résiduelle, ce qui est préférable (il est préférable de diminuer le nombre de flux QoS que de dégrader le débit des flux voisins) à une surestimation qui entraînerait une dégradation des flux QoS.

Les paquets Hello ont une taille petite et constante. Par conséquent la probabilité de collision que l'on observe sur des paquets de données de plus grandes tailles n'est pas identique à la probabilité de collision sur ces paquets Hello. Pour résoudre ce problème nous utilisons une interpolation à l'aide des polynômes de Lagrange.

Il est important de noter que la probabilité de collision ne dépend que de la taille des paquets envoyés par la source et de l'occupation du médium au niveau du récepteur. Nous proposons donc une méthode permettant d'évaluer la probabilité de collision qui combine deux approches :

- Une approche on-line permettant d'évaluer l'impact de la distribution de l'occupation du médium au niveau du récepteur par le biais de la probabilité de collision sur les paquets Hello
- Une approche off-line qui prend en compte la taille des paquets par le biais d'une interpolation.

3) *Prise en compte du backoff*: Lorsqu'un mobile subit une collision, il double la taille de sa fenêtre de contention. Jusqu'à présent, nous n'avons considéré que le temps perdu en terme de collision sans tenir compte du temps perdu en terme de backoff.

Cependant, on peut démontrer que la proportion de temps représentée par le backoff est négligeable devant la proportion de temps représentée par les collisions. En d'autres termes, la chute du débit des flux QoS est due en grande majorité aux collisions. Nous utiliserons les notations suivantes :

- $T_{backoff}$ est le temps total perdu sous forme de backoff durant la période de mesure lorsque la taille de la fenêtre de contention est supérieure à CW_{min} .
- $T_{collision}$ est le temps total perdu sous forme de collision.
- $\alpha = \frac{T_{backoff}}{T_{collision} + T_{backoff}}$ est la proportion de temps perdu sous forme de backoff par rapport à la proportion totale de temps perdu.

La notion de temps perdu indique une durée pendant laquelle aucun paquet de données n'a pu être transmis correctement. En effet pendant la phase de backoff le mobile émetteur ne peut envoyer ses paquets, de même que pendant une

collision le médium est occupé sans qu'un paquet ne puisse être transmis correctement.

Pour estimer la valeur du paramètre α , nous considérons un scénario au niveau duquel des mobiles sont aléatoirement placés dans un carré de $1000\text{ m} \times 1000\text{ m}$. Nous augmentons aussi bien le nombre de nœuds que la charge du réseau. Les résultats présentés au niveau de la figure 1, représentent la moyenne de 30 simulations.

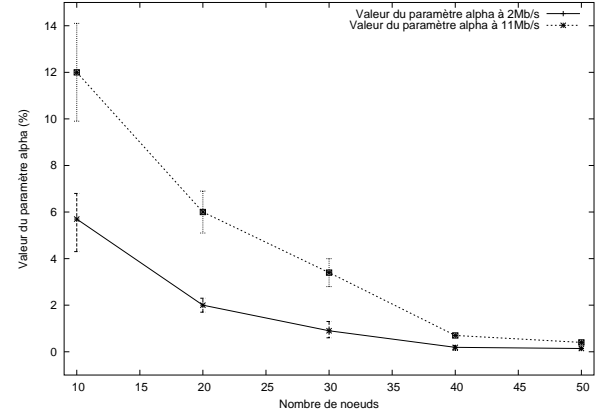


Fig. 1

PROPORTION DE TEMPS PERDUE SOUS FORME DE BACKOFF

On remarque sur cette figure que dans le pire des cas, le temps perdu par le backoff représente à peine plus de 6% du temps global perdu à 2 Mb/s, et 12% à 11 Mb/s. Ainsi, la majeure partie du temps perdu l'est sous forme de collision. De plus, lorsqu'on augmente le nombre de nœuds et la charge du réseau, la valeur de α tend à être nulle.

Ces simulations, ont été effectuées dans des environnements à 2 Mb/s et 11 Mb/s comme capacité. Dans un environnement à 11 Mb/s, la valeur de α dans le pire des cas augmente mais n'est égale qu'à 12% ce qui reste toujours relativement faible. Cependant, avec des environnements présentant des débits beaucoup plus élevés (802.11 a ou g), le temps de transmission étant plus faible, le backoff occupera une proportion de temps plus grande qui ne pourra plus être négligée lors de l'estimation.

En conclusion, pour estimer la bande passante résiduelle d'un lien, trois paramètres sont indispensables :

- $E(b_{(s,r)})$ qui représente une estimation de la synchronisation des périodes de temps libre entre les nœuds source s et destinataire r calculée à l'aide des formules décrites dans [9].
- La valeur K qui représente la proportion de temps passée sous forme de backoff.
- La valeur p_m [2] qui représente la probabilité de collision sur des paquets de taille m octets.

Pour estimer de manière fine la bande passante résiduelle sur le lien (s, r) , il faut donc retrancher la proportion de bande passante occupée par le backoff et les collisions.

Finalement, la bande passante résiduelle d'un lien entre deux nœuds voisins s et r est donnée par la formule :

$$E_{final}(b_{(s,r)}) = (1 - K) \cdot (1 - p_m) \cdot E(b_{(s,r)}) \quad (1)$$

IV. SIMULATIONS

Nous avons développé une version protocolaire appelée ABE (Available Bandwidth Estimation) à partir de notre méthode d'évaluation de la bande passante résiduelle. Nous avons ensuite évalué les performances d'ABE en utilisant le simulateur NS-2 (version 2.27), avec comme couche MAC, la norme IEEE 802.11 fournie par le simulateur. Afin de comparer les performances d'ABE avec AODV, QoS-AODV, AAC et BRuIT présentés dans la section II, nous générons une topologie constituée de 20 nœuds placés aléatoirement dans un carré de 1000x1000. Sept flux CBR sont initiés, pour chacun d'entre eux le mobile initiateur de la communication choisit aléatoirement un mobile comme destinataire (celui-ci peut être hors de sa zone de communication). La simulation dure 50 secondes, le démarrage de chaque flux est espacé de 5 secondes et les résultats présentés constituent la moyenne de 30 simulations.

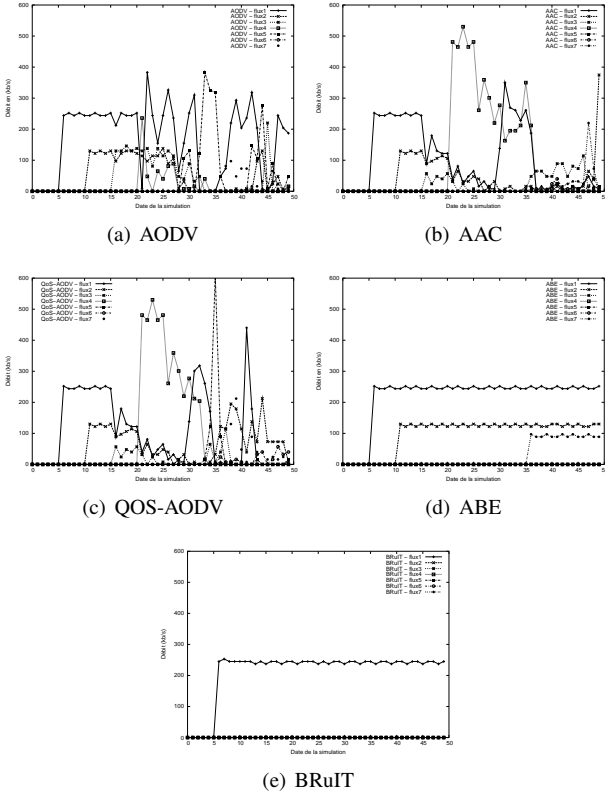


Fig. 2

DÉBITS OBTENUS AVEC AODV, AAC, QoS-AODV, ABE ET BRUIT

Au niveau de la figure 2(a), lorsque AODV est utilisé, le réseau est dans un état de congestion car aucun contrôle d'admission n'est effectué afin de limiter le nombre de flux

QoS. On observe aussi de fréquentes cassures de routes ce qui réduit très fortement les performances globales du réseau.

Les figures 2(b) et 2(c) montrent les débits obtenus avec AAC et QoS-AODV. Ces deux protocoles surestiment la bande passante résiduelle et admettent plus de flux QoS qu'ils ne devraient.

Si on considère la figure 2(d), ABE effectue un contrôle d'admission plus fin qu'avec AAC et AODV, car seuls trois flux sur sept ont pu trouver une route avec le débit désiré par l'application. Ce scénario montre que notre estimation ne surestime pas la bande passante résiduelle.

Finalement, lorsqu'on utilise BRuIT (Figure 2(e)), seul un flux sur sept est admis, ce qui sous entend que BRuIT sous-estime la bande passante résiduelle.

V. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons présenté une nouvelle technique permettant d'améliorer l'estimation de la bande passante résiduelle entre deux nœuds voisins, et par extension, le long d'un chemin. Les résultats montrent une estimation plus fiable de la bande passante résiduelle que les techniques existantes en prenant notamment en compte la probabilité de collision que vont subir les paquets de données. A travers des simulations, nous avons montré la robustesse et la précision de notre estimation que nous avons intégrée à un protocole pour pouvoir en comparer les performances avec d'autres approches existantes. Les simulations montrent que les flux sont routés avec le débit demandé par l'application sans aucune dégradation du débit.

REFERENCES

- [1] Andreas Johnsson, Bob Melander, and Mats Björkman. Bandwidth Measurement in Wireless Network. Technical report, Mälardalen University, Sweden, March 2005.
- [2] C. SARR, C. Chaudet, G. Chelius and I. Guérin-Lassous. Improving Accuracy in Available Bandwidth Estimation for IEEE 802.11-based Ad Hoc Networks. In *Proceedings of the Third IEEE International Conference on Mobile Ad-Hoc and Sensor Systems (MASS)*, Oct 2006.
- [3] Claude Chaudet, Isabelle Guérin Lassous. BRuIT - Bandwidth Reservation under Interferences influence. In *Proceedings of European Wireless 2002 (EW2002)*, Florence, Italy, Feb 2002.
- [4] Frank Y. Li, Mariann Haugea, Andreas Hafslund, Oivind Kure and Pal Spilling. Estimating Residual Bandwidth in 802.11-based Ad Hoc Networks: An empirical Approach. In *Proceedings of The Seventh International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC 2004)*, Abano Terme, Italy, September 2004.
- [5] Bob Melander, Mats Björkman, and Per Gunningberg. A new end-to-end probing analysis method for estimating bandwidth bottlenecks. In *Proceedings of the Fifth Global Internet Symposium held in conjunction with Globecom 2000*, San Francisco, USA, November 2000.
- [6] Ravi Prasad, Margaret Murray, Constantinos Dovrolis, and K. Claffy. Bandwidth estimation: metrics, measurement techniques, and tools. *IEEE Network*, 17(6):27–35, November 2003.
- [7] R. de Renesse, M. Ghassemian, V. Friderikos, A.H Aghvami. Adaptive Admission Control for Ad Hoc and Sensor Networks Providing Quality of Service,. Technical report, King College London, May 2005.
- [8] Ronan de Renesse, Mona Ghassemian, Vasilis Friderikos, A. Hamid Aghvami. QoS Enabled Routing in Mobile Ad Hoc Networks. In *IEEE 3G 2004*, 2004.
- [9] C. Sarr, C. Chaudet, G. Chelius, and I. Guérin Lassous. A node-based available bandwidth evaluation in IEEE 802.11 ad hoc networks. In *First International Workshop on System and Networking for Smart Objects (SANSO)*, Fukuoka, Japon, July 2005.
- [10] Yaling Yang and Robin Kravets. Contention Aware Admission Control for Ad Hoc Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 4:363–377, 2005.